

STUDI HIDROGEOKIMIA AIRTANAH BEBAS DI WILAYAH KEPESISIRAN KECAMATAN SRANDAKAN KABUPATEN BANTUL DAN SEKITARNYA

Nia Kurniawati

geo.niakurniawati@outlook.com

Langgeng Wahyu Santosa

langgengw@ugm.ac.id

The purpose of this study are: to review the characteristics of the groundwater hydrogeochemistry; and to review the factors affecting the nature of hydrogeochemistry groundwater in the coastal area, Srandakan. Hydrogeochemistry approach is being used in this research using Stuyfzand's method and Expanded Square-Piper Diagram method.

The first research results indicate that there are four types of groundwater. Bicarbonate groundwater types are in the alluvial plain. Semi-bicarbonate groundwater types are spread evenly across the landforms. Fossil groundwater type is in an old beach shoals. Groundwater intrusion type found in shoals of young beach. Secondly, the factors that affect the characteristics of groundwater hydrogeochemistry in the study area, namely the dissolution process marin and alluvium material streams by rain water that undergo a process of infiltration and percolation into bicarbonate and semi-bicarbonate groundwater types; cation exchange process groundwater with clay material forming the type of fossil groundwater; and the process of mixing groundwater with surface sea water due to intrusion, form this groundwater intrusion type.

Keywords: *groundwater, landforms, hydrogeochemistry, coastal area, and Srandakan.*

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah: mengkaji karakteristik hidrogeokimia airtanah; serta mengkaji faktor-faktor yang mempengaruhi sifat hidrogeokimia airtanah bebas di Wilayah Kepesisiran Kecamatan Srandakan. Pendekatan hidrogeokimia dilakukan dengan menggunakan metode diagram piper segiempat dan stuyfzand.

Hasil penelitian pertama menunjukkan bahwa terdapat empat tipe airtanah bebas di wilayah penelitian yang dipengaruhi oleh genesis bentuklahan, yaitu tipe airtanah bikarbonat pada dataran alluvial, tipe airtanah semi-bikarbonat yang tersebar merata di seluruh bentuklahan, tipe airtanah fosil di beting gisik tua yang dekat dengan swale, dan tipe airtanah intrusi di beting gisik muda. Kedua, faktor-faktor yang memengaruhi karakteristik dan pola persebaran hidrogeokimia airtanah bebas di daerah penelitian yaitu proses pelarutan material marin dan alluvium sungai oleh air hujan yang mengalami proses infiltrasi dan perkolasi menjadi tipe airtanah bikarbonat dan semi-bikarbonat; proses pertukaran kation airtanah dengan material lempung membentuk tipe airtanah fosil; dan proses pencampuran airtanah dengan air laut akibat intrusi permukaan saat terjadinya pasang air laut sehingga membentuk tipe airtanah intrusi air laut.

Kata Kunci: airtanah bebas, hidrogeokimia, bentuklahan, wilayah kepebisiran, dan Srandakan.

PENDAHULUAN

Wilayah Kepesisiran di Kecamatan Srandakan merupakan wilayah yang didominasi oleh material lepas-lepas berupa pasir hingga kerikil (Santosa & Adji, 2014). Material lepas-lepas tersebut memiliki porositas dan permeabilitas yang tinggi, sehingga mudah melalukan air. Oleh karena itu, jika air limbah hasil penggunaan lahan di wilayah ini tidak dikelola dengan baik, pencemaran airtanah dapat terjadi. Masalah airtanah yang keruh dan berwarna kekuning-kuningan juga ditemukan di Dusun Karang, Poncosari, Srandakan, Bantul, D.I. Yogyakarta (Saifullah, 2014). Kandungan besi (Fe) yang teroksidasi dalam air dapat mengubah warna air menjadi kecoklatan (Effendi, 2003). Hal ini menyebabkan penggunaan air menjadi tidak efisien dan tidak produktif. Selain kandungan besi yang mungkin terdapat pada airtanah di Kecamatan Srandakan dapat pula terdapat faktor kimia lain yang berpengaruh pada kualitas airtanahnya.

Permasalahan kualitas air tersebut dapat dikaji melalui pendekatan hidrogeokimia untuk mengetahui sifat kimia airtanah, genesis atau proses-proses geomorfologis masa lampau, dan asal-usul airtanah terkait dengan dinamika bentuklahan daerah kajian. Melalui sifat kimia dalam airtanah berdasarkan pada konsentrasi ion mayor dan kandungan besi (Fe), maka kelayakan pemanfaatan airtanah untuk pemenuhan kebutuhan sehari-hari dapat diketahui. Penelitian ini diharapkan dapat mengungkap kondisi airtanah yang ada di Wilayah Kepesisiran Kecamatan Srandakan dari sisi karakteristik hidrogeokimia airtanah.

Menurut Jankowski (2001, dalam Santosa, 2010), studi hidrogeokimia adalah kajian terpadu dan terintegrasi, yang menunjukkan hubungan antara kondisi hidrokimia airtanah dengan geomorfologi dan akuifer di wilayah kajian. Tipe hidrokimia dapat menggambarkan genesis (asal-usul), evolusi (perubahan), dan proses hidrogeokimia airtanah. Studi hidrokimia merupakan sebuah studi yang mengungkap sejumlah informasi yang terekam dalam air selama siklusnya (Mazor, 2004).

Santosa (2010) merumuskan bahwa dinamika karakteristik dan proses pembentukan akuifer dan hidrogeokimia airtanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu: (a) genesis masa

lampau yang menunjukkan asal-usul atau kronologi proses geomorfologi masa lampau yang mempengaruhi pembentukan bentuklahan; (b) lingkungan pengendapan tempat batuan dasar diendapkan; (c) komposisi mineral batuan penyusun akuifer; (d) proses dan pola pergerakan airtanah dalam akuifer; (e) lamanya airtanah tinggal dalam akuifer atau terjebak dalam lapisan batuan penyusun akuifer.

Genesis masa lampau daerah kepebisiran dapat ditunjukkan dari iklim masa lampainya. Terdapat tiga unsur iklim yang berpengaruh terhadap perubahan fenomena daerah kepebisiran, yaitu suhu, curah hujan, dan angin. Verstappen (1994, dalam Sunarto 2004) mengemukakan, bahwa fluktuasi suhu pada kala pleistosen berpengaruh pada daerah pegunungan yaitu pada turunnya batas salju maupun batas vegetasi, serta berpengaruh pula pada fluktuasi muka laut. Fluktuasi hujan berpengaruh pada sedimentasi di daerah bawah. Fluktuasi pola angin juga mempunyai pengaruh penting pada perkembangan pantai dan kai karang (coral cay) pada angin musim Asia, khususnya selama Holosen dan kejadian dalam dekade sekarang ini.

Secara alami komposisi kimia air dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu iklim, geologi, geomorfologi, vegetasi, waktu dan aktivitas manusia. Faktor geologi yaitu mineral batuan penyusun akuifer dapat mempengaruhi kondisi hidrogeokimia airtanah. Interaksi antara komposisi airtanah yang memasuki suatu akuifer dengan mineral-mineral batuan penyusun akuifer dapat mengubah komposisi airtanah yang secara dinamis juga berhubungan dengan dinamika geomorfologinya. Sehingga hidrogeokimia dapat digunakan untuk mengetahui sifat kimia airtanah, genesis (proses-proses geomorfologis masa lampau), dan asal-usul airtanah terkait dengan bentuklahan yang dipelajarinya (Appelo dan Postma, 2005 dalam Santosa, 2010). Kemudian Santosa (2010) juga merumuskan bahwa komposisi kimia airtanah dapat mengalami evolusi yaitu berkembangnya komposisi kimia airtanah menuju keseimbangan seperti komposisi kimia dalam airlaut selama perjalanannya dari hulu ke hilir.

Selanjutnya Clark (2015) menyatakan bahwa terdapat proses-proses kimia seperti pertukaran kation, pelarutan garam, dan pencampuran antara air tanah dengan air asin.

Proses-proses tersebut berpengaruh pada perkembangan hidrogeokimia air tanah. Airtanah yang memiliki salinitas yang lebih tinggi biasanya terdapat di daerah kering dan pesisir. Airtanah yang lebih tua dan lebih lambat alirannya akan memiliki komposisi kimia yang lebih rumit sehingga evolusi hidrogeokimia airtanah penting untuk mengetahui kualitas air yang berguna untuk menentukan arahan penggunaannya dan investigasi transportasi kontaminan.

Tujuan penelitian ini adalah: (1) mengkaji karakteristik hidrogeokimia airtanah bebas dan persebarannya; serta (2) mengkaji faktor-faktor yang mempengaruhi sifat hidrogeokimia airtanah bebas di Wilayah Kepesisiran, Kecamatan Srandakan.

METODE PENELITIAN

Satuan bentuklahan merupakan unit pengumpulan, pengolahan, dan analisis utama di wilayah penelitian. Pengambilan dan pengukuran data ketinggian muka airtanah (TMA), nilai daya hantar listrik (DHL), dan karakteristik sifat fisik airtanah dilakukan dengan menggunakan grid sampling yaitu dengan membagi wilayah penelitian menjadi beberapa grid dengan ukuran yang sama. Pengambilan sampel airtanah menggunakan purposive sampling, yaitu berdasarkan satuan bentuklahan dan karakteristik airtanah yang terdapat di wilayah penelitian. Selanjutnya sampel airtanah diuji kandungan ion mayornya. Hasil uji laboratorium terlebih dahulu dikoreksi dengan menggunakan *Charge Balance Error* (CBE) untuk mengetahui kelayakan data uji sampel sebelum dilakukan analisis menggunakan metode diagram piper segiempat dan stuyfzand.

(a) Metode Stuyfzand

Analisis tipe hidrogeokimia airtanah bebas dengan menggunakan metode Stuyfzand (1993) digunakan untuk mengetahui tipologi airtanah. Tipologi airtanah ini digunakan untuk membedakan tipe air dan menentukan tipe dominan serta proses-proses yang terjadi dalam airtanah. Penentuan tipologi airtanah bebas ini dilakukan dengan melakukan beberapa tahapan klasifikasi yang secara berurutan yaitu klasifikasi tipe utama, tipe, subtype, dan

klasifikasi klas. Klasifikasi tipe utama ditentukan dari kadar ion klorida (Cl^-), klasifikasi tipe ditentukan dari nilai alkalinitas yaitu berdasarkan kadar ion bikarbonat ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$), klasifikasi subtype ditentukan dari jenis kation dan anion dominan, sedangkan klasifikasi klas ditentukan dari nilai indeks pertukaran dasar (BEX: base exchange index).

Tabel 1. Sistem klasifikasi tipe hidrogeokimia airtanah menurut Stuyfzan

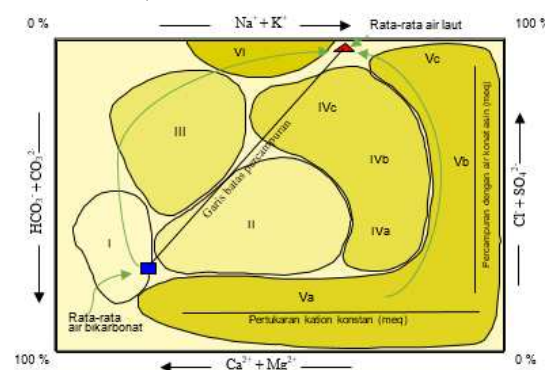
Tingkat	Nama	Banyaknya Subdivisi	Kriteria
1	Tipe Utama	8	Kandungan ion klorida Cl^-
2	Tipe	9	Nilai alkalinitas (HCO_3^- dan CO_3^{2-})
3	Sub Tipe	27 §§	Kation dan anion utama (ion dominan)
4	Kelas	3	Koreksi garam-garam laut ($\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Mg}^{2+}$)

§§: Data maksimum yang sudah dipraktekkan sampai saat ini.

Sumber: Stuyfzand (1993)

(b) Metode Diagram Piper Segiempat

Klossterman (1983, dalam Santosa 2010) mengklasifikasikan tipe hidrogeokimia airtanah menjadi enam tipe dalam diagram piper segiempatnya, seperti yang terlihat pada Gambar 1. Diagram ini memiliki dua titik acuan, yaitu rata-rata komposisi kimia air bikarbonat (air tawar) di dekat sudut kiri bawah yang ditunjukkan dengan simbol ■ dan rata-rata komposisi kimia air laut di dekat sudut kanan atas yang ditunjukkan dengan simbol ▲. Jika tidak disertai reaksi kimia akibat faktor lain, maka hasil pencampuran antara kedua tipe kimia air tersebut akan terletak pada garis lurus yang menghubungkan keduanya (Hem, 1970 dalam Santosa, 2010).



Gambar 1. Diagram piper segiempat (Klossterman, 1983 dalam Santosa, 2010)

Persamaan yang digunakan untuk mengetahui persentase komposisi kation Na^+ + K^+ dan Ca^{2+} + Mg^{2+} (satuan meq/liter) pada sumbu absis adalah sebagai berikut.

$$\text{Na}^+ + \text{K}^+ = \frac{\Sigma (\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{\Sigma \text{Total Kation}} \times 100\%$$

$$\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+} = \frac{\Sigma (\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+})}{\Sigma \text{Total Kation}} \times 100\%$$

Persamaan yang digunakan untuk mengetahui persentase komposisi anion Cl^- + SO_4^{2-} dan HCO_3^- + CO_3^{2-} (satuan meq/liter) pada sumbu ordinat adalah sebagai berikut.

$$\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} = \frac{\Sigma (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})}{\Sigma \text{Total Anion}} \times 100\%$$

$$\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} = \frac{\Sigma (\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})}{\Sigma \text{Total Anion}} \times 100\%$$

Hasil perhitungan persentase tersebut kemudian di plotkan dalam diagram piper segiempat untuk mengetahui tipe kimia airtanahnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Wilayah kepebisiran Kecamatan Srandakan dan sekitarnya merupakan wilayah yang dibatasi oleh dataran aluvial dan perbukitan formasi sentolo di bagian utara. Dataran aluvial tersebut menjadi batas karena perbedaan morfologi dan material endapannya yang didominasi oleh pasir kasar hingga sedang. Perbedaan morfologi tersebut juga ditunjukkan dari perbedaan kontur permukaan tanah. Hal ini juga dipertegas dengan adanya perbukitan formasi sentolo yang secara geologi memiliki material yang berbeda dengan wilayah kepebisiran.

Pola aliran airtanah di wilayah penelitian umumnya mengalir dari arah utara ke selatan menuju Samudra Hindia atau dari topografi tinggi ke rendah. Selain itu aliran airtanah di wilayah penelitian juga mengalir ke Sungai Progo di sebelah barat dan kedalam cekungan-cekungan lokal. Oleh karena itu, sungai tersebut memiliki pola aliran yang bersifat *efluent*, dimana airtanah selalu memasok aliran sungai sehingga sungai dapat mengalir sepanjang tahun (*perennial*).

Pola aliran airtanah di wilayah penelitian memiliki dua sistem akuifer yaitu Sistem Akuifer Dataran Fluviomarin dan Sistem Akuifer Pesisir yang memiliki pola aliran yang berbeda. Sifat aliran pada satuan dataran fluviomarin adalah homogen yaitu alirannya

merupakan aliran lanjutan dari dataran aluvial yang mengalir ke arah selatan menuju pesisir. Namun, pada beberapa lokasi ditemukan cekungan lokal tempat terkumpulnya airtanah bebas yang menyebabkan nilai DHL airtanahnya tinggi. Menurut Santosa (2010), nilai DHL yang tinggi disebabkan karena arah aliran airtanah bebas memiliki hubungan dengan adanya pengumpulan konsentrasi-konsentrasi ion.

Berbeda dengan sistem akuifer dataran fluviomarin, sistem akuifer pesisir yang terdiri atas satuan bentuklahan beting gisik, swale, dan gisik pantai memiliki pola aliran airtanah sendiri yang bersifat lokal. Endapan barier yang terdapat pada satuan beting gisik tua menjadi pemisah antara sistem akuifer dataran fluviomarin dan sistem akuifer pesisir. Sehingga airtanah yang berasal dari sistem akuifer dataran fluviomarin tidak masuk ke dalam sistem akuifer pesisir, namun mengalir ke bawahnya. Sedangkan pola aliran airtanah sistem akuifer pesisir cenderung mengalir menuju ke satuan bentuklahan *swale* karena morfologi bentuklahannya yang berupa cekungan dengan topografi yang lebih rendah dibandingkan beting gisik yang mengapitnya. Selanjutnya aliran airtanah dari kedua sistem tersebut akan mengalir menuju laut.

Terdapat tiga kelas DHL di wilayah penelitian yaitu airtanah tawar, airtanah payau, dan airtanah asin. Airtanah tawar mendominasi hampir seluruh wilayah penelitian. Airtanah payau hanya terdapat secara lokal di beberapa wilayah dataran fluviomarin, swale, beting gisik tua, dan beting gisik muda. Persebarannya tidak merata dan memiliki pola-pola tertentu yang cenderung melingkar. Sedangkan airtanah asin hanya terbatas pada wilayah yang sempit yaitu di bagian gisik pantai dan sebagian beting gisik muda di sebelah barat wilayah penelitian. Keberadaan airtanah asin ini dapat berasal dari pencampuran antara air laut yang meluap saat terjadinya pasang air laut.

Berdasarkan pola aliran dan zonasi daya hantar listrik, pengambilan sampel airtanah di tiap satuan bentuklahan dapat ditentukan, yaitu dengan memilih lokasi yang menjadi pusat aliran airtanah dan memiliki nilai DHL yang tinggi dan representatif untuk setiap satuan bentuklahan. Selanjutnya dari hasil uji sampel laboratorium terhadap ion mayor, dapat dilakukan analisis hidrogeokimia dengan menggunakan metode

Stuyfzand dan metode diagram piper segiempat Kloosterman.

(c) Metode Stuyfzand

Hasil penentuan tipologi airtanah bebas di wilayah penelitian menunjukkan variasi yang beragam seperti yang terdapat pada Tabel 2 dan persebaran tipologi hidrogeokimia airtanah bebas secara spasial dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 2. Tipologi Airtanah Bebas di Daerah Penelitian Berdasarkan Metode Stuyfzand

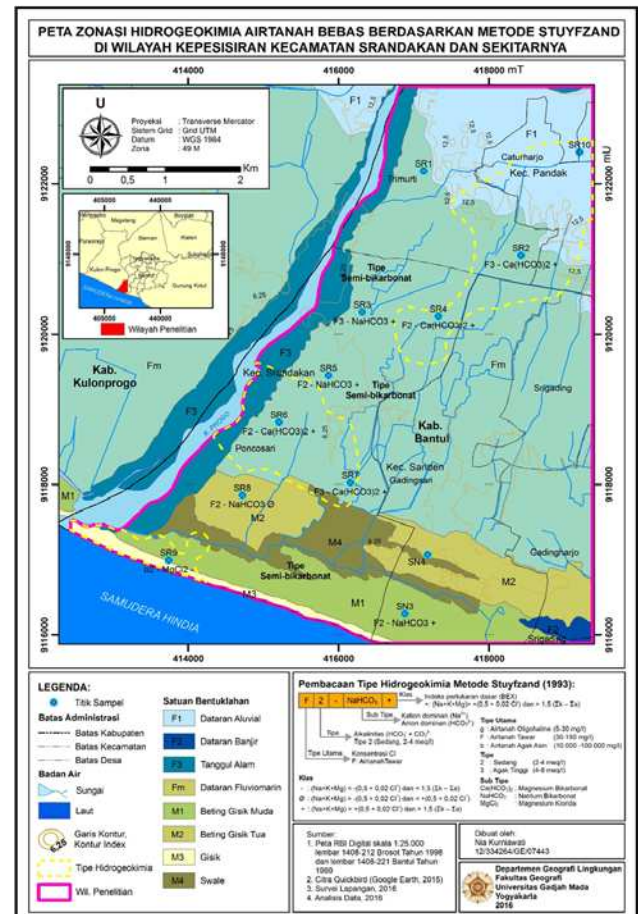
Sampel	Tipe Utama		Tipe		Subtipe	Klas		Tipe Hidrogeokimia	Bentuklahan
	Cl ⁻ (mg/l)	Kode	HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ²⁻ (mmol/l)	Kode		BEX	Kode		
SR 1	48	F	4,2	3	NaHCO ₃	4,99	+	F3 - NaHCO ₃ +	Dataran Fluvioimar
SR 2	58	F	4,39	3	Ca(HCO ₃) ₂	2,87	+	F3 - Ca(HCO ₃) ₂ +	
SR 3	82	F	4,79	3	NaHCO ₃	2,39	+	F3 - NaHCO ₃ +	
SR 4	46	F	3,34	2	Ca(HCO ₃) ₂	1,4	+	F2 - Ca(HCO ₃) ₂ +	
SR 5	50	F	3,8	2	NaHCO ₃	3,45	+	F2 - NaHCO ₃ +	Dataran Banjir
SR 6	42	F	3,02	2	Ca(HCO ₃) ₂	1,21	+	F2 - Ca(HCO ₃) ₂ +	
SR 7	120	F	6,88	3	Ca(HCO ₃) ₂	1,56	+	F3 - Ca(HCO ₃) ₂ +	Dataran Fluvioimar
SR 8	54	F	3,28	2	NaHCO ₃	7,55	+	F2 - NaHCO ₃ Ø	Dataran Banjir
SR 9	6950	b	2,49	2	MgCl ₂	-66,34	-	b2 - MgCl ₂ -	Beting Gisik Muda
SR 10	36	F	3,15	2	Ca(HCO ₃) ₂	-0,43	Ø	F2 - Ca(HCO ₃) ₂ Ø	Dataran Aluvial
SN 3	34	F	3,02	2	NaHCO ₃	1,74	+	F2 - NaHCO ₃ +	Beting Gisik Muda
SN 4	25,8	g	4,25	3	NaHCO ₃	5,11	+	g3 - NaHCO ₃ +	Beting Gisik Tua

Sumber: Hasil Analisis Data, 2016

Berdasarkan klasifikasi tipe utama, terdapat tiga tipe utama pada wilayah penelitian yaitu tipe airtanah sangat tawar (g), tipe airtanah tawar (F), dan tipe airtanah agak asin (b). Tipe airtanah tawar (F) tersebar hampir di seluruh wilayah penelitian, sedangkan tipe airtanah agak asin (b) hanya terdapat pada sampel SR9 yang terletak di wilayah pesisir bagian barat wilayah penelitian. Tipe airtanah yang lain yaitu tipe airtanah sangat tawar berada di Kecamatan Sanden.

Klasifikasi tipe airtanah berdasarkan alkalinitas menunjukkan kadar ion bikarbonat yang berada pada tingkat sedang yang ditunjukkan dengan angka 2 hingga tingkat agak tinggi yang ditunjukkan dengan angka 3. Kadar ion bikarbonat pada wilayah penelitian berkisar antara 152-420 mg/l. Selanjutnya hasil klasifikasi subtipe di wilayah penelitian, menunjukkan tiga jenis subtipe yaitu NaHCO₃, Ca(HCO₃)₂, dan MgCl₂. Sedangkan semua jenis klasifikasi klas tersebar pada wilayah penelitian.

Klasifikasi klas ditunjukkan dengan adanya tanda positif (+), seimbang (Ø), dan negatif (-). Jenis klas bertanda positif (+) menunjukkan kondisi airtanah yang tawar, jenis klas bertanda seimbang (Ø) menunjukkan kondisi airtanah yang berada dalam kesetimbangan tawar-asin, dan jenis klas bertanda negatif (-) menunjukkan adanya pengaruh intrusi air pada airtanah. Semua klasifikasi tersebut saling berpengaruh antara satu dengan lainnya sehingga terbentuk tipologi airtanah yang berbeda-beda.



Gambar 2. Peta Zonasi Hidrogeokimia Airtanah Bebas Berdasarkan Metode Stuyfzand di Wilayah Kepesisiran Kecamatan Srandakan

Tipe hidrogeokimia F2-Ca(HCO₃)₂+, F3-Ca(HCO₃)₂+, dan F2-Ca(HCO₃)₂Ø tersebar secara mengelompok pada satuan bentuklahan dataran fluvioimar dan dataran aluvial. Tipe ini menunjukkan bahwa airtanah dalam kondisi tawar. Hal ini ditunjukkan dari simbol huruf F yang berarti airtanah memiliki kadar klorida (Cl⁻) yang rendah yaitu diantara 36 – 120 mg/l. Klasifikasi jenis airtanah ini berbeda dengan klasifikasi dengan menggunakan nilai DHL karena klasifikasi DHL menunjukkan airtanah

yang tawar hingga payau yaitu dengan nilai 838 – 2200 $\mu\text{mhos/cm}$. Ion dominan pada tipe ini adalah ion kalsium (Ca^+) sebagai kation dominan dan ion bikarbonat (HCO_3^-) sebagai anion dominan. Indeks pertukaran dasar (*BEX: base exchange index*) menunjukkan airtanahnya dalam kondisi kelebihan air tawar (+) dan ada juga yang menunjukkan kesetimbangan tawar-asin (\emptyset). Kondisi airtanah yang seimbang tawar-asinnya terdapat pada sampel SR 10 yang terletak di dataran aluvial.

Tipe hidrogeokimia F2-NaHCO_3+ , F3-NaHCO_3+ , dan $\text{F2-NaHCO}_3\emptyset$ tersebar pada seluruh wilayah penelitian yaitu pada satuan bentuklahan fluviomarin dan beting gisik. Tipe ini sama seperti tipe sebelumnya yaitu airtanah dalam kondisi tawar yang ditunjukkan dengan kadar klorida (Cl^-) yang rendah, yaitu diantara 5,5 – 82 mg/l. Ion dominan pada tipe ini adalah ion natrium (Na^+) sebagai kation dominan dan ion bikarbonat (HCO_3^-) sebagai anion dominan. Indeks pertukaran dasar (*BEX: base exchange index*) menunjukkan airtanahnya dalam kondisi kelebihan air tawar (+) dan ada juga yang menunjukkan kesetimbangan tawar-asin (\emptyset). Kondisi airtanah yang seimbang tawar-asinnya terdapat pada sampel SR 8 yang terletak di beting gisik tua.

Kedua kelompok tipe airtanah tersebut memiliki kesamaan dalam hal kandungan anion dominannya yaitu berupa bikarbonat. Sedangkan perbedaan kedua kelompok tipe tersebut terletak pada kation dominannya. Kelompok tipe airtanah dengan kation dominan kalsium (Ca^+) dapat dikategorikan kedalam kelompok tipe bikarbonat sedangkan kelompok tipe airtanah dengan anion dominan natrium (Na^+) dikategorikan ke dalam kelompok tipe semi-bikarbonat. Hal ini dikarenakan kation natrium (Na^+) lebih banyak terdapat di perairan laut dibandingkan dengan kation kalsium (Ca^+).

Tipe hidrogeokimia yang terakhir adalah tipe b2-MgCl_2- yang hanya terdapat pada wilayah pesisir bagian barat wilayah penelitian dan berdekatan dengan Sungai Progo. Tipe ini menunjukkan airtanah yang agak asin dengan tingkat alkalinitas yang sedang. Sedangkan nilai DHLnya tinggi yaitu 3.821 $\mu\text{mhos/cm}$. Komposisi kimia tipe ini didominasi oleh kation Mg^{2+} dan anion Cl^- . Tanda negatif (-) menunjukkan airtanah yang mengalami proses pencampuran dengan air laut. Proses intrusi ini

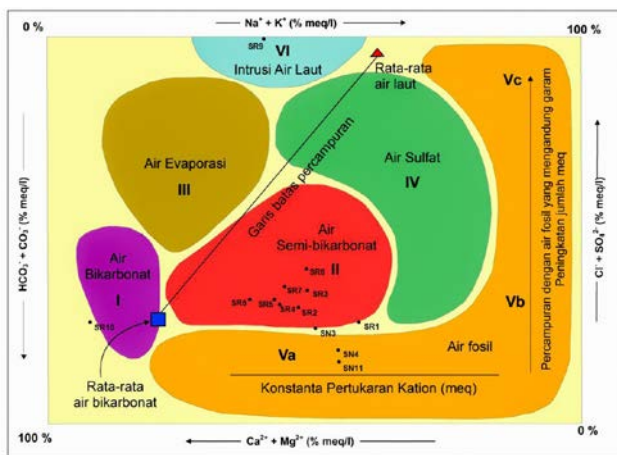
dapat terjadi dengan adanya faktor pasang airlaut yang tinggi dan mencapai sumur-sumur yang berada di wilayah pesisir serta litoralisasi lahan di wilayah pesisir. Proses terjadinya pasang airlaut dan mencapai sumur-sumur yang terdapat pada wilayah penelitian tersebut juga dikategorikan sebagai intrusi permukaan karena proses masuknya airlaut dalam sistem akuifer pesisir bukan melalui zona interface tetapi melalui permukaan tanah baik karena pasang air laut maupun luapan air Sungai Progo akibat pasang air laut yang tinggi. Sedangkan proses litoralisasi yang semakin meningkat baik dalam hal permukiman maupun tambak udang dan pariwisata menyebabkan tingginya kebutuhan airtanah sehingga dapat terjadi penurunan muka airtanah.

(b) Metode Diagram Piper Segiempat

Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan metode diagram piper segiempat didapatkan tiga tipe hidrogeokimia airtanah bebas di wilayah penelitian, yaitu tipe airtanah bikarbonat (I), tipe airtanah semi-bikarbonat (II), dan tipe airtanah intrusi air laut (VI). Selain itu juga diambil tiga sampel yang terletak disekitar wilayah penelitian untuk memperjelas variasi tipe hidrogeokimia airtanahnya. Ketiga sampel airtanah tersebut diambil dari penelitian Irmaningdiah (2016). Hasil analisis diagram piper segiempat untuk ketiga sampel airtanah tersebut adalah tipe airtanah semi-bikarbonat (II) dan tipe airtanah fosil (Va). Hasil Plotting Sampel Airtanah pada diagram piper segiempat di wilayah penelitian dapat dilihat pada Gambar 3. Sedangkan persebaran spasial tipe hidrogeokimia airtanah tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.

Tipe airtanah bikarbonat (I) ditemukan di SR 10 yaitu pada satuan bentuklahan aluvial. Kelompok airtanah tipe ini memiliki kualitas terbaik dibandingkan dengan tipe lainnya. Hal ini dicirikan dengan karakteristik air tanahnya yang tidak berasa, tidak berbau, dan berwarna jernih. Adapun nilai DHL airtanah tipe ini juga rendah yaitu 838 $\mu\text{mhos/cm}$, sehingga airnya termasuk dalam airtanah tawar. Berdasarkan komposisi kimianya, airtanah tipe bikarbonat dicirikan dengan kandungan kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), dan bikarbonat (HCO_3^-) yang tinggi serta kandungan natrium (Na^+) dan kalium (K^+) yang rendah. Airtanah tipe ini

umumnya berasal dari proses fluvial dan terdapat pada wilayah yang secara genetik termasuk dalam bentanglahan Kuarter. Kondisi yang demikian sesuai dengan kondisi lokasi tempat pengambilan sampel yaitu pada satuan bentuklahan aluvial yang terbentuk akibat proses fluvial. Lokasi Sungai Progo memiliki posisi yang berdekatan dengan dataran aluvial merupakan tenaga utama proses fluvial tersebut sehingga dapat membentuk dataran aluvial.



Gambar 3. Hasil Plotting Sampel Airtanah pada Diagram Piper Segiempat di Wilayah Penelitian
Sumber: Hasil Analisis Data (2016)

Airtanah tipe semi-bikarbonat (II) mendominasi satuan bentuklahan dataran fluviomarin dan sebagian berada di beting gisik tua yang ada di wilayah penelitian. Berdasarkan konsep yang dikemukakan oleh Kloosterman (1983), airtanah pada kelompok II memiliki komposisi campuran antara $(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ dan $(Na^{+} + K^{+})$ dengan $(Cl^{-} + SO_4^{2-})$ dan $(HCO_3^{-} + CO_3^{2-})$. Ion yang mendominasi adalah HCO_3^{-} , sehingga airtanah termasuk tawar, berkualitas baik, dan masih dapat dikonsumsi untuk kebutuhan sehari-hari. Airtanah ini banyak ditemukan pada satuan dataran banjir atau dataran rendah kepepesisiran. Hal ini sesuai dengan kondisi yang ada, dimana dataran fluviomarin dan beting gisik tua termasuk dalam dataran rendah wilayah kepepesisiran.

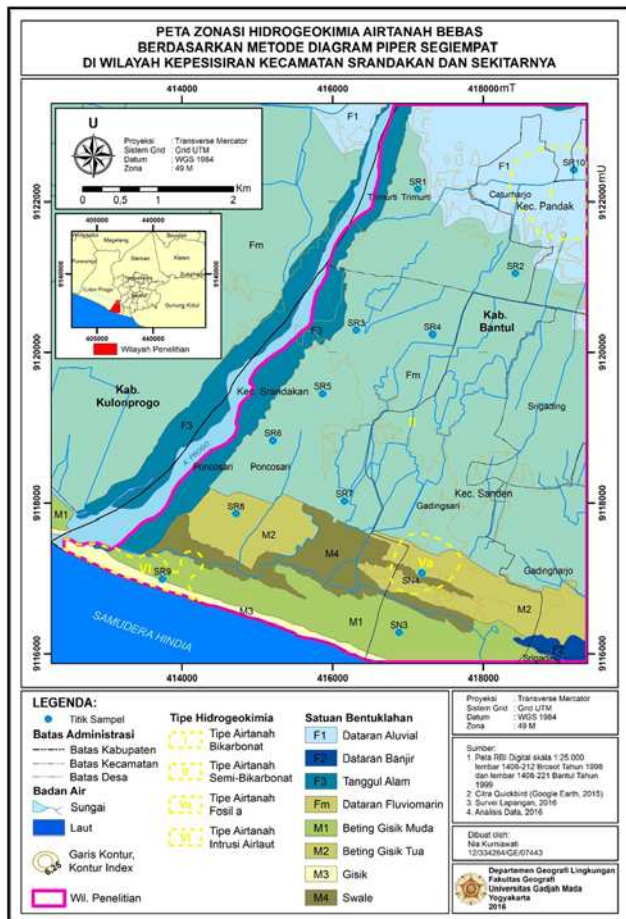
Airtanah kelompok Va adalah airtanah tipe fosil. Daerah penelitian memiliki airtanah fosil, yaitu pada bentuklahan beting gisik tua, dataran fluviomarin, dan dataran aluvial dengan nomor sampel SN 4. Sampel tersebut berasa tawar, tidak berbau, dan jernih. Jika dilihat dari nilai daya hantar listriknya, sampel SN 4 termasuk airtanah payau dengan nilai daya hantar listrik

berkisar antara 1.200 – 2.500 $\mu mhos/cm$. Sedangkan, jika dilihat dari hasil uji laboratorium, kedua sampel tersebut masih termasuk tawar karena kandungan Cl^{-} masih tergolong rendah. Kadar $(Na^{+} + K^{+})$ dan $(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ dalam airtanah tersebut cukup tinggi karena adanya proses pertukaran kation airtanah dengan material lempung marin yang memiliki kandungan garam NaCl yang tinggi. Akan tetapi proses pencampuran ini masih dalam tahap awal yang ditunjukkan dari kadar Cl^{-} yang rendah.

Airtanah tipe intrusi air laut (VI) ditemukan pada SR 9. Airtanah tipe ini terdapat pada satuan bentuklahan gisik pantai hingga beting gisik muda. Airtanah ini merupakan airtanah campuran (*mixing groundwater*) yang terbentuk karena proses pencampuran airtanah dengan air laut. Airtanah ini memiliki kandungan Cl^{-} dan SO_4^{2-} yang sangat tinggi dan berasa asin. Hal ini juga ditunjukkan oleh nilai DHL yang cukup tinggi, yaitu 3.820 $\mu mhos/cm$. Kelompok airtanah tipe intrusi air laut ini biasanya terdapat pada mintakat-mintakat pantai sempit yang materinya berupa pasir. Sesuai dengan nama tipenya pencampuran airtanah dengan air laut ini dapat disebabkan oleh adanya proses intrusi air laut (*sea water intrusion*). Adanya proses litoralisasi permukiman, pariwisata, dan tambak yang semakin berkembang dapat menyebabkan pemanfaatan airtanah yang melebihi pasokan (input) air hujan. Penggunaan airtanah yang terus menerus dimanfaatkan oleh masyarakat menyebabkan air laut mudah masuk ke dalam airtanah. Selain itu pencampuran air laut ke dalam airtanah di wilayah ini juga dapat disebabkan oleh adanya pasang air laut yang tinggi, sehingga air laut meluap ke sumur-sumur penduduk sekitar gisik dan beting gisik muda.

Selanjutnya dari hasil analisis kedua metode tersebut dapat dicari faktor-faktor yang mempengaruhi tipe hidrogeokimia airtanah di wilayah penelitian. Tipe hidrogeokimia airtanah bebas di wilayah penelitian sangat bervariasi baik berdasarkan metode piper segiempat maupun metode stuyfzand. Tipe hidrogeokimia airtanah berdasarkan metode piper segiempat digunakan untuk mengetahui asal-usul proses terbentuknya airtanah tersebut. Hal ini dikarenakan karakteristik airtanah pada setiap wilayah berbeda-beda tergantung pada genesis bentuklahan pada wilayah tersebut. Genesis

bentuklahan ini merupakan petunjuk atau kunci untuk mengetahui asal-usul dan kronologi proses geomorfologi masa lampau yang berpengaruh pada pembentukan bentuklahan yang ada pada saat ini. Bentuklahan yang terdapat di wilayah penelitian diantaranya adalah gisik, beting gisik muda, swale, beting gisik tua, fluvimarin, dataran banjir dan tanggul alam.



Gambar 4. Peta Zonasi Hidrogeokimia Airtanah Bebas berdasarkan Metode Diagram Piper Segiempat di Wilayah Kepesisiran Srandakan

Selain genesis bentuklahan terdapat beberapa faktor lain yang berpengaruh pada karakteristik airtanah, yaitu: (i) lingkungan pengendapan tempat batuan dasar diendapkan, (ii) komposisi mineral batuan penyusun akuifer, (iii) proses dan pola pergerakan airtanah di dalam akuifer, dan (iv) lamanya airtanah tinggal dalam akuifer atau terjebak pada suatu lapisan batuan (stratigrafi) penyusun akuifer (Santosa, 2010). Genesis bentuklahan dan keempat faktor inilah yang akan mendasari terbentuknya tipe hidrogeokimia di wilayah penelitian.

Berdasarkan genesis bentuklahannya, wilayah penelitian termasuk dalam Zona Selatan Jawa Bagian Tengah (Pannekoek, 1949).

Sedangkan menurut Bemmelem (1949), kronologis terjadinya pembentukan bentanglahan di wilayah kajian terbentuk setelah akhir kala Eosen, dimana terjadi pengangkatan dan penurunan secara berurutan akibat proses tektonisme dan vulkanisme hingga akhir kala Miosen, sehingga terbentuk pengendapan batugamping formasi sentolo. Selanjutnya, terjadi penurunan membentuk cekungan laut yang lama kelamaan terisi oleh akumulasi endapan material alluvium oleh proses fluvial Sungai Progo dan Sungai Opak pada kala Holosen, sehingga terbentuk dataran rendah wilayah kepebisiran dengan karakteristik satuan bentuklahan yang bervariasi.

Hasil klasifikasi metode piper segiempat, didapatkan 4 tipe Hidrogeokimia airtanah bebas yang ada di wilayah penelitian diantaranya adalah tipe airtanah bikarbonat (I), tipe airtanah semi-bikarbonat (II), tipe airtanah fosil (Va), dan tipe airtanah intrusi air laut (VI). Tipe airtanah bikarbonat terletak di sebelah utara wilayah penelitian yaitu pada dataran aluvial, tipe airtanah semi bikarbonat tersebar merata di wilayah penelitian, tipe airtanah fosil terletak di sebelah timur wilayah penelitian yaitu pada satuan bentuklahan beting gisik tua yang dekat dengan *swale*, dan tipe airtanah intrusi air laut terletak di sekitar gisik pantai bagian barat wilayah penelitian.

Tipe airtanah bikarbonat (I) dan tipe airtanah semi-bikarbonat (II) adalah tipe airtanah yang memiliki kualitas paling baik dibandingkan dengan tipe airtanah lainnya. Berdasarkan genesisnya, kedua tipe airtanah ini secara alami merupakan hasil proses pencucian mineral-mineral alluvium Sungai Progo dan Sungai Opak yang kemudian terendapkan. Selain itu juga merupakan hasil proses infiltrasi dan perkolasi air hujan ke dalam sistem akuifer. Adanya proses pencucian mineral-mineral alluvium sungai dan material marin oleh air hujan inilah yang membentuk kedua tipe airtanah tersebut. Faktor komposisi mineral batuan penyusun akuifer pada kedua tipe airtanah ini dapat dilihat dari terjadinya proses deposisi material-material alluvium yang dibawa oleh aliran sungai yang berasal dari perombakan material piroklastik hasil erupsi Gunungapi Merapi Muda. Material-material tersebut kaya akan mineral kalsium dan

magnesium sehingga menyebabkan kandungan kation dominan Ca^{2+} dan membentuk tipe airtanah $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ pada airtanah tersebut, terutama pada tipe airtanah bikarbonat. Sedangkan pada tipe airtanah semi-bikarbonat lebih didominasi oleh ion Na^+ dan membentuk tipe air NaHCO_3 . Hal ini dikarenakan tipe air tersebut merupakan hasil pencucian garam NaCl oleh air tawar $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

Tipe airtanah fosil (*connate water*) merupakan tipe hasil klasifikasi metode piper segiempat yang ditemukan pada bentuklahan beting gisik tua. Berdasarkan genesisnya tipe airtanah ini sesuai dengan namanya merupakan airtanah purba yang terjebak dalam lingkungan pengendapan berupa bekas laguna yang kemudian tertutup oleh endapan material fluvial. Bukti adanya laguna purba di wilayah penelitian ini dapat dilihat dari bentuk pola satuan bentuklahan yang berupa cekungan. Pola cekungan ini dapat dilihat dari cekungan dataran banjir Sungai Opak yang terhubung dengan cekungan *swale* yang memanjang hingga Sungai Progo. Laguna adalah tubuh air asin yang sempit. Akan tetapi akibat adanya periode kering yang panjang pada kala Pleistosen mengakibatkan terjadinya penguapan yang tinggi hingga meninggalkan endapan lempung-lempung marin dan kristal-kristal garam pada dasar laguna. Kemudian kristal-kristal garam tersebut lama-kelamaan tertutup oleh endapan fluvial. Adanya proses infiltrasi dan perkolasi air hujan menyebabkan larutnya kristal garam ke dalam airtanah sehingga meninggalkan bekas airtanah yang berasa payau hingga asin dengan nilai DHL yang tinggi (Santosa, 2010). Tipe airtanah fosil yang terdapat di wilayah ini terjadi akibat proses pertukaran kation airtanah dengan mineral lempung marin. Material lempung marin ini berasal dari endapan sedimen marin pada zona laut dangkal pada kala pleistosen yang mengandung mineral Ca^{2+} atau Mg^{2+} dari material lempung marin. Sifat material lempung marin yang memiliki pori-pori mikro menyebabkan mineral ini mampu menjebak airtanah sehingga dapat terjadi pertukaran mineral lempung dengan airtanah (Barapela, 2015). Akan tetapi proses pertukaran kation tersebut masih dalam tahap awal sehingga belum terjadi perubahan kation dominannya menjadi kation Ca^{2+} atau Mg^{2+} .

Tipe airtanah intrusi air laut merupakan tipe hasil klasifikasi metode piper segiempat yang terdapat pada beting gisik muda. Tipe ini terbentuk akibat hasil proses pencampuran airtanah dengan air laut (mixing water). Tipe airtanah intrusi air laut termasuk dalam tipe klorida menurut klasifikasi airtanah metode stuyfzand. Tipe airtanah ini memiliki komposisi anion dominan berupa Cl^- dan kation dominan Mg^{2+} . Pencampuran air laut pada airtanah ini ditunjukkan dari kandungan kation Mg^{2+} yang tinggi. Faktor penyebab terjadinya proses pencampuran ini antara lain dapat dilihat dari posisi airtanah yang terdapat pada satuan bentuklahan gisik dan beting gisik muda. Posisi tersebut sangat dekat dengan laut sehingga memungkinkan terjadinya intrusi air laut. Proses masuknya air laut dalam airtanah dapat disebabkan oleh adanya pasang yang tinggi hingga mencapai beting gisik muda. Hal ini dibuktikan dengan adanya abrasi air laut yang sering menimpa wilayah pesisir Desa Poncosari Kecamatan Srandakan Kab.Bantul Prov.D.I. Yogyakarta dan sekitarnya, diantaranya terjadi pada tahun 2013. Abrasi ini disebabkan oleh adanya gelombang pasang dengan ketinggian 4-5 meter sehingga dapat merusak puluhan bangunan rumah makan maupun rumah warga di wilayah pesisir dan sekitarnya (BNPB, 2017). Kejadian pasang air laut ini juga terjadi pada tahun 2016 tepatnya pada bulan Juli. Menurut Idhom (2016), Pasang air laut yang terjadi pada bulan Juli tahun 2016 di wilayah pesisir Kecamatan Srandakan dan sekitarnya mencapai ketinggian 6 meter. Oleh karena itu, adanya rembesan air laut ke dalam sistem akuifer di wilayah pesisir ini sering terjadi dan berpengaruh pada intensitas terjadinya pencampuran air laut dengan airtanah. Selain itu penggunaan lahan di wilayah tersebut sudah didominasi oleh permukiman, bangunan rumah makan, dan tambak udang yang dalam memenuhi kebutuhan masyarakatnya maupun usaha pariwisata dan tambak udang diperlukan airtanah dalam jumlah yang tinggi. Tingginya kebutuhan airtanah di wilayah pesisir inilah yang juga dapat menjadi sebab terjadinya intrusi air laut karena adanya penurunan muka air tanah di wilayah tersebut. Penurunan muka airtanah ini juga dapat dilihat dari adanya tinggi muka air tanah (TMA) di wilayah pesisir yang berada dibawah ketinggian muka air laut.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut ini.

- (1) Analisis hidrogeokimia airtanah bebas berdasarkan metode diagram piper segiempat menunjukkan bahwa terdapat empat tipe airtanah, yaitu tipe airtanah bikarbonat, semi-bikarbonat, fosil dan intrusi air laut. Tipe airtanah bikarbonat ditemukan pada bentuklahan dataran aluvial, airtanah fosil ditemukan di beting gisik tua yang terletak dekat dengan *swale*, serta tipe airtanah intrusi air laut ditemukan pada beting gisik muda. Sedangkan analisis hidrogeokimia airtanah bebas berdasarkan metode Stuyfzand menunjukkan bahwa wilayah kepepesisiran Kecamatan Srandakan dan sekitarnya memiliki tiga kelompok airtanah, yaitu kelompok airtanah bikarbonat, semi-bikarbonat, dan klorida. Kelompok airtanah klorida ditemukan pada satuan bentuklahan beting gisik muda, sedangkan kelompok airtanah bikarbonat ditemukan mengelompok di beberapa lokasi. Kelompok airtanah semi-bikarbonat tersebar merata di daerah penelitian.
- (2) Terdapat beberapa faktor yang berpengaruh pada variasi tipe hidrogeokimia di wilayah kepepesisiran Kecamatan Srandakan yaitu proses pelarutan material marin dan alluvium sungai oleh air hujan yang mengalami proses infiltrasi dan perkolasi menjadi tipe airtanah bikarbonat dan semi-bikarbonat; proses pertukaran kation airtanah dengan material lempung membentuk tipe airtanah fosil pada tahap awal; dan proses pencampuran airtanah dengan airlaut akibat intrusi permukaan saat terjadinya pasang airlaut sehingga membentuk tipe airtanah intrusi air laut.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). (2016). Data Kejadian Bencana Abrasi. <http://geospasial.bnpb.go.id/pantauanbencana/data/dataabrasi.php>. Diakses oleh Nia Kurniawati pada tanggal 15 Agustus 2016 pukul 10.20 WIB.

- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air*. Yogyakarta: Kanisius.
- Idhom, A.M. (2016). Pesisir Bantul Diterjang Ombak Enam Meter. <https://m.tempo.co/read/news/2016/06/07/206777583/pesisir-bantulditerjang-ombak-enam-meter>. Diakses oleh Nia Kurniawati pada tanggal 15 Agustus 2016 pukul 9.48 WIB.
- Saifullah. (2014). Analisis Kualitas Air Menggunakan Model Fisik Water Treatment Sistem Filtrasi Dengan Kombinasi Sekam Padi dan Pasir Sebagai Bahan Filtrasi. *Skripsi*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UMY.
- Santosa, L. W. (2010). Kajian Genesis Bentuklahan dan Pengaruhnya Terhadap Hidrostratigrafi Akuifer dan Hidrogeokimia Sebagai Geoindikator Evolusi Airtanah Bebas pada Bentanglahan Kuarter Kabupaten Kulonprogo Bagian Selatan, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Disertasi*. Yogyakarta: Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.
- Santosa, L. W., & Adji, T. N. (2014). *Karakteristik Akuifer dan Potensi Airtanah Graben Bantul*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Stuyfzand, P. (1993). *Hydrochemistry and Hydrology of the Coastal Dune Area of the Western Netherlands*. The Netherlands: KIWA, N.V.
- Sunarto. (2004). Perubahan fenomena geomorfik daerah kepepesisiran di sekeliling Gunungapi Muria Jawa Tengah: Kajian Paleogeomorfologi. *Disertasi*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Verstappen, H. T. (1977). *Applied Geomorphology, Geomorphological Surveys for Environmental Development*. Amsterdam: Elsevier.
- Wirijati, Wikan. (2014). Hubungan Antara Kimia Airtanah dengan Kondisi Geologi di Daerah Samas, Kecamatan Sanden, Kabupaten Bantul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.